

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-174270

(43)Date of publication of application : 09.07.1996

(51)Int.Cl.

B23K 35/30

(21)Application number : 06-327201

(71)Applicant : MITSUBISHI HEAVY IND LTD  
NIPPON UERUDEINGUOTSUTO KK

(22)Date of filing : 28.12.1994

(72)Inventor : KAWAGUCHI SEIICHI  
SHIMOBATAKE YUKIROU  
IDA MASAHIRO  
DANBAYASHI KATSUJI  
OMAE TAKASHI  
TAKATSU TAMAO

## (54) COATED ARC ELECTRODE FOR NI-BASED HIGH-CR ALLOY

(57)Abstract:

PURPOSE: To make it possible to obtain a weld metal and welded joint having an excellent high-temp. tension characteristic and weld crack resistance.

CONSTITUTION: This coated arc electrode for a Ni-based high-Cr alloy is formed by using an alloy contg. specific ratios of C, Si, Mn, P, S, Cr, Mo, Cu, Wb, Al, Ti, Fe, Co, W, V, O and N and consisting of the balance Ni as a core wire and coating the circumference of this core wire with a coating material contg. specific ratios of metal carbonate, metal fluoride, oxide and further, consisting of an alloy agent, deoxidizing agent, slag forming agent and binder, exclusive of the materials described above.

## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 18.06.1998

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3170165

[Date of registration] 16.03.2001

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-174270

(43) 公開日 平成8年(1996)7月9日

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>  
B23K 35/30  
識別記号  
330 K  
F I

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全12頁)

(21) 出願番号 特願平6-327201

(22) 出願日 平成6年(1994)12月28日

(71) 出願人 000006208

三菱重工業株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目5番1号

(71) 出願人 000227962

日本ウエルディングロッド株式会社

東京都中央区銀座1丁目13番8号

(72) 発明者 川口 聖一

兵庫県高砂市荒井町新浜二丁目1番1号

三菱重工業株式会社高砂研究所内

(72) 発明者 下島 幸郎

兵庫県高砂市荒井町新浜二丁目1番1号

三菱重工業株式会社高砂研究所内

(74) 代理人 弁理士 内田 明 (外2名)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 Ni 基高Cr 合金用被覆アーク溶接棒

(57) 【要約】

【目的】 高温耐食機器に使用されるNi 基高Cr 合金用被覆アーク溶接棒に関する。

【構成】 特定割合のC, Si, Mn, P, S, Cr, Mo, Cu, Nb, Al, Ti, Fe, Co, W, V, O及びNを含み、残部がNiからなる合金を心線とし、特定割合の金属炭酸塩、金属ふっ化物、酸化物を含み、さらに上記以外の合金剤、脱酸剤、スラグ生成剤、粘結剤からなる被覆剤を前記心線のまわりに被覆塗装してなることを特徴とするNi 基高Cr 合金用被覆アーク溶接棒。

【効果】 高温引張特性及び耐溶接割れ性に優れた溶接金属や溶接継手を得ることができる。

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 重量%で C : 0.05% 以下、Si : 0.75% 以下、Mn : 2~5%、P : 0.03% 以下、S : 0.015% 以下、Cr : 28~31.5%、Mo : 0.5% 以下、Cu : 0.5% 以下、Nb : 1~2.5%、Al : 0.5% 以下、Ti : 0.5% 以下、Fe : 7~12%、Co : 0.1% 以下を含み、W 及び V を最大 2 種、合計 0.5% 以下を含有し、さらに不可避不純物として O : 0.1% 以下、N : 0.03~0.3% を含み、残部が Ni からなる合金を心線とし、被覆 10 剤全重量に対して、金属炭酸塩の 1 種又は 2 種以上 : 20~50%、金属ふっ化物の 1 種又は 2 種以上 : 20~50%、合金剤 : 3~20%、脱酸剤 : 0.2~5%、スラグ生成剤 : 3~20% 及び粘結剤 : 1~5% からなる被覆剤を前記心線のまわりに被覆してなることを特徴とする Ni 基高 Cr 合金用被覆アーク溶接棒。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は加圧水型原子力発電プラントなどに代表される 300~350℃ の高温で使用される高温耐食機器に用いられるインコネル 690 合金（米国 INCO 社の商品名）などの Ni 基高 Cr 合金の溶接に適した被覆アーク溶接棒に関し、さらに詳しくは高温引張強度特性、耐溶接割れ性に優れた溶接金属を得ることができる被覆アーク溶接棒に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 現在、300~350℃ の高温で稼働する加圧水型原子力発電プラントの蒸気発生器伝熱管材などには耐食性に優れたインコネル 600 合金が用いられている。さらに伝熱管材として信頼性向上を目指して新たに開発されたインコネル 690 合金が使われ始めた。その代表的な合金組成を表 1 に示す。

## 【0003】

【表 1】

区分	規格	C	Si	Mn	S	Ni	Cr	Fe
690 合金	ASME Code Sec. II-B SB-163 USN N06690	0.15 以下	0.5 以下	1.0 以下	0.015 以下	58.0 以上	27.0 - 31.0	7.0 -11.0
	ASME Code Case N-20 SB-163 Alloy 690	0.05 以下	0.50 以下	0.50 以下	0.015 以下	58.0 以上	27 -31	7 -11

【0004】 この 690 合金を用いて構造物を製造する際には被覆アーク溶接を伴うのが普通で、溶接時に被覆アーク溶接棒を溶融しながら合金を添加し溶接後の強度を保持するためと耐溶接割れ性を確保するためにライム型のフラックスタイプの被覆アーク溶接棒を必要とする。この被覆アーク溶接棒に関してはアメリカ機械学会（The American Society of Mechanical Engineers ;

ASME）の ASME ボイラ及び圧力容器規程（ASME Boiler and Pressure Vessel Code ; 以下、ASME Code という）の規定が用いられており、その溶着金属の化学成分を表 2 に示す。

## 【0005】

【表 2】

区 分	規格	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
690 合金被覆アーク溶接棒	ASME Code Case 2143 UNS W86152	0.05 以下	0.75 以下	5.00 以下	0.030 以下	0.015 以下	Bal	28.0 -31.5
		Mo	Cu	Nb	Al	Ti	Fe	other
		0.50 以下	0.50 以下	1.0 -2.5	0.50 以下	0.50 以下	7.0- 12.0	0.50 以下

【0006】 表 1 と比較すれば明らかなように、被覆アーク溶接棒の主組成も 690 合金とほとんど同組成であ

るが、溶接割れを防ぐために被覆アーク溶接棒の方は S、i、Mn、P 含有量に特に制限を加え、また、耐食性の

劣化を防ぐためにNbを添加している。この他、ASME Codeには定められていないが、実際には被覆アーク溶接棒を製造するとき加える脱酸剤や大気から混入する不可避不純物が含まれており、その種類と含有量は本発明者らの分析例によれば0:0.08~0.15%、N:0.025%である。

【0007】インコネル690合金は元来、高Cr性を有する材料であるから、この被覆アーク溶接棒を用いて溶接した構造物の溶接部も室温の機械的性質及び耐溶接割れ性などについても十分な性能を有している。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、前述のような300~350℃の高温で稼働する機器の長時間使用に際しては溶接部の強度不足という問題がある。すなわち、前記のインコネル690合金とその被覆アーク溶接棒を用いて、溶接した溶着金属や溶接継手の高温引張強度は母材に比べて弱い場合、高温強度の信頼性が十分ではない。例えば、350℃の全溶着金属の高温引張試験を行ったとき、引張強さは480~500N/mm<sup>2</sup>という低い値しか得られない。さらに、このインコネル690合金被覆アーク溶接棒は組織がオーステナイト組織を呈するため溶接割れ感受性が高いので耐溶接割れ性を十分考慮しなければならない。

【0009】本発明は上記技術水準に鑑みてなされたものであり、その目的はインコネル690合金などNi基高Cr合金の溶接に用いられ、高温引張特性及び耐溶接割れ性に優れた溶接金属や溶接継手を得ることができる被覆アーク溶接棒を提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明者らは前記目的の達成のため、Ni基高Cr合金用被覆アーク溶接棒の材質について種々検討した結果、インコネル690合金被覆アーク溶接棒の組成のうち、オーステナイトの固溶強化については、侵入型元素のC、Nがもっとも大きく強化に寄与していることがわかった。しかし、このインコネル690合金被覆アーク溶接棒の特徴の一つである耐食性が優れているという特性上、C量を母材並の0.05%を超えて添加すると耐食性が劣化するため、C含有量を増して高温引張強度を改善することは難しい。また、N量のみを増加させた場合は溶接欠陥が生じやすくなり好ましくない。このため、Nの外にW及びVを複合添加すれば後述のように溶接欠陥を生じることなく高温強度を改善できることがわかった。

【0011】さらに、 $\gamma$ マトリックス相の固溶強化元素として、Mo、W、V、Ti及びAlが挙げられる。しかしこのインコネル690合金被覆アーク溶接棒の組成のうち、Ti及びAlは脱酸剤として作用するが、溶接作業性や耐溶接割れ性を考慮して規制している。また、Moは耐食性を考慮して制限を加えているが強度の改善を考えれば規制範囲内で高めに合金設計することが望ま

しい。このほか、ASME Codeには定められていないが、W及びVはその他の元素として0.5%以下の元素添加は許されるのでW及びV量を0.5%範囲内で増して固溶強化により高温引張強度の改善がはかれることが判明した。

【0012】次にこのインコネル690合金被覆アーク溶接棒組織がオーステナイト組成を呈するため溶接割れ感受性が高いので溶接割れに影響を及ぼすP、S、Si、O量を低めに規制することによって耐溶接割れ感受性を確保する。これらの元素を低めに抑えるには使用する心線と被覆アーク溶接棒のフラックスタイプを考慮しなければならない。一般にNi基合金用被覆アーク溶接棒には、石灰石や蛍石を被覆剤の主成分とするライム型溶接棒とルチルを被覆剤の主成分とするライムチタニア型溶接棒があり、特にライム型溶接棒は脱P・脱S効果、低Si化、低O化する作用があるのでインコネル690合金被覆アーク溶接棒にはこのライム型溶接棒を採用することにより耐溶接割れ性の改善をはかる。

【0013】本発明は上記知見に基づき、ASME Codeの化学成分規格内でW及びVを添加すると共にO及びNの含有量範囲を規定し、さらに新しく成分規制をした被覆剤と組み合わせることによって完成されたものである。すなわち、本発明は重量%でC:0.05%以下、Si:0.75%以下、Mn:2~5%、P:0.03%以下、S:0.015%以下、Cr:28~31.5%、Mo:0.5%以下、Cu:0.5%以下、Nb:1~2.5%、Al:0.5%以下、Ti:0.5%以下、Fe:7~12%、Co:0.1%以下を含み、W及びVを最大2種、合計0.5%以下を含有し、さらに不可避不純物としてO:0.1%以下、N:0.03~0.3%を含み、残部がNiからなる合金を心線とし、被覆剤全重量に対して、金属炭酸塩の1種又は2種以上:20~50%、金属ふっ化物の1種又は2種以上:20~50%、合金剤:3~20%、脱酸剤:0.2~5%、スラグ生成剤:3~20%及び粘結剤:1~5%からなる被覆剤を前記心線のまわりに被覆してなることを特徴とするNi基高Cr合金用被覆アーク溶接棒である。

【0014】

【作用】以下に本発明の被覆アーク溶接棒における各成分の作用及びその含有量の限定理由を説明する。

【0015】Cは一般に固溶体強化元素であり、C量の増加とともに引張強度は増加するが、一方C量の増加は耐応力腐食割れ性を劣化させるので、両特性を考慮してC量は0%を超え0.05%以下とした。

【0016】Siは溶接時に脱酸作用に働き有効である。また、Si量が多くなると、溶接高温割れ感受性が高くなるので、ライム型溶接棒を採用することによりスラグに高塩基性を与え、溶接金属中のSiを低下させることが可能であるため、低Si化をはかった。Si量は

0%を超え0.75%以下とした。

【0017】Mnは溶接時に脱酸作用及び脱硫作用として有効であり、溶接高温割れに有害なSを固定し溶接割れ性を抑制する効果があり、この効果を得るには2%以上が好ましい。しかし、Mn添加量が5%を超えると、溶接時にスラグの融点が下がりビード表面にこげつき現象が発生し、溶接欠陥を作りやすくなるのでMnは2~5%とした。

【0018】Crは耐食性向上に必須の元素であるが、耐応力腐食割れ性の効果を十分ならしめるためには28%以上が必要である。一方、31.5%を超えると心線の製造時の熱間加工性が著しく劣化するのでCr量は28~31.5%とした。

【0019】Moはマトリックスに固溶して引張強度を向上させるが、Mo量の増加は心線の製造時の熱間加工性が著しく劣化するのでMo量は0%を超え0.5%以下とした。しかし、引張強度を考慮すればMo量は0.5%以下という範囲内で高めの0.4%程度に合金設計することが望ましい。

【0020】Cuは高温に加熱されるとマトリックス中に微細分散析出して引張強度を高めるが、逆に過剰の添加は溶接割れ感受性を高めるのでCu量は0%を超え0.5%以下とした。

【0021】Nbは炭窒化物形成元素で引張強度を向上させるが、1%未満ではその効果がなく、また、2.5%を超える量の添加は溶接割れ感受性を高めるので1~2.5%とした。

【0022】Alは心線を溶製するときに脱酸剤として用いられるため、不純物扱いとなる。また、N安定化元素として溶接金属中のNを固定し強度の改善に寄与することが考えられるが、過剰の添加は溶接中にスラグが発生し、溶接作業性を劣化させるので0%を超え0.5%以下とした。

【0023】TiはAlと同様、その酸化力を利用して脱酸剤として用いられるため、不純物扱いとなる。また、TiはNとの親和力が強く、TiNとして析出し、組織を微細化させ、引張強度の改善に寄与するが、Alと同様に過剰の添加は溶接中にスラグが発生し、溶接作業性を劣化させるのでTiは0%を超え0.5%以下とした。

【0024】Feはインコネル690合金のような高Cr量の場合に生じるスケール発生を防止又は抑制する。そして7%未満ではスケール発生が著しくなる。また、12%を超えて過剰に添加すると応力腐食割れ性を劣化させる。したがって、Feは7~12%とした。

【0025】W及びVはASME Codeに定められていないその他の元素0.5%以下の範囲内でW及びVを、最大2種添加して高温引張強度の改善をはかった。Wはマトリックスに固溶して引張強度を向上させるが、添加量が多くなると耐溶接割れ感受性が劣化する。ま

た、VはW、Moとほぼ同じようにマトリックスに固溶して引張強度を向上させるが、0.5%を超えると延性が低下する。したがって、W及びVを最大2種、合計で0%を超え0.5%以下とした。

【0026】Coは軽水型原子炉用として、このインコネル690合金を使用するときは、半減期の長いCoを含有していると、放射化されたCoが原子炉系統内を酸化物などととも循環し、定期検査時などに作業環境の放射能レベルを高めるのでCoは無い方がよい。しかしCoは元来Ni原材料中に1~2%程度含有されており、精錬によってNiの純度を上げてても工業的に得られる低CoNi原料のCo含有量は0.1%以下程度となる。この点を考慮して、Coは0.1%以下とした。

【0027】Pは不可避不純物であり、また、Niと低融点の共晶(Ni-Ni<sub>3</sub>Pなど)を作り、溶接高温割れ感受性を高める元素であるので、含有量は少ないほどよいが、過度な制限は経済性の低下を招く。また、ライム型溶接棒を採用することにより、スラグに高塩基性を与え脱P作用により低P化をはかった。Pは0.03%以下とした。

【0028】Sは不可避不純物であり、また、Pと同じようにNiと低融点の共晶(Ni-Ni<sub>3</sub>S<sub>2</sub>など)を作り、溶接高温割れ感受性を高める元素であるので、含有量は少ないほどよいが、Sは0.015%以下とした。

【0029】Oは心線の溶製中に大気から侵入する不可避不純物であり、溶接金属の結晶粒界に酸化物の形となって集まり、結晶粒界の高温強度を弱くする。また、Oは溶接割れ感受性を高めるのでライム型溶接棒を採用することにより低O化をはかった。Oは0.1%以下にすることが望ましい。

【0030】NはOと同じように不可避不純物であり、その含有量の限界値を定めることは重要である。ただし、NはTiなどと窒化物(TiNなど)を作り、引張強度を改善するので積極的に添加する。Nは含有量の増加とともに引張強度の向上に寄与するが0.03%未満ではその効果は小さい。ただし、過剰の添加はブローホール等の溶接欠陥発生原因となるので、Nは0.03~0.3%とした。

【0031】次いでNi基被覆アーク溶接棒の被覆剤について説明する。Ni基高Cr合金用被覆アーク溶接棒(インコネル系被覆アーク溶接棒に相当)に用いられる被覆剤には一般にTiO<sub>2</sub>、CaCO<sub>3</sub>を主成分とするライムチタニア型フラックスタイプと、CaCO<sub>3</sub>、CaF<sub>2</sub>を主成分とするライム型フラックスタイプのものがある。一般にライム型溶接棒は全姿勢での溶接作業性が良好であるという特徴を持っているが、反面アークの安定性及びアークの再発生が悪いので、直流電源による直流溶接機を用いた溶接が行われている。また、CaCO<sub>3</sub>、被覆剤を主成分としているので、溶接時にCaCO

が分解して溶着金属のC量を増加させ、耐食性を劣化させるという欠点がある。その他、スラグに塩基性を与え溶着金属のSi、P、S分を低下させる効果があるので溶接割れ感受性を低く抑えることができる。

【0032】本発明のNi基高Cr合金用被覆アーク溶接棒はライム型溶接棒で、一般に流通しているコストの安い交流溶接機を用いて溶接できるようCaCO<sub>3</sub>、CaF<sub>2</sub>が主成分のライム型にチタン酸カリウム(TiK<sub>2</sub>O)などを添加しアークの安定性及び再アーク発生の改善をはかっている。従来品としては、ライム型溶接棒で直流専用のも(交流ではアーク切れを起こし溶接ができない)と交直両用のライムチタニア型溶接棒が用いられている。このライムチタニア型溶接棒は下向姿勢では美しいビード外観が得られるが、立向及び上向姿勢ではビード外観が凸形になるなど溶接作業性がやや劣る。また、ライムチタニア型溶接棒では、TiO<sub>2</sub>、SiO<sub>2</sub>などが主成分になるため溶着金属のP、S、Si、O量が増加するため溶接割れ感受性が高くなるという欠点がある。

【0033】本発明でいう金属炭酸塩とは、CaCO<sub>3</sub>、MnCO<sub>3</sub>、BaCO<sub>3</sub>などをいうが、これらはいずれもスラグに塩基性を与え、溶接金属のP、S、Siを低めに抑える効果があるため耐溶接割れ感受性を良好ならしめる。これらの金属炭酸塩は溶接中に分解してCO<sub>2</sub>を発生し熔融金属を大気から遮断し、アーク雰囲気中のH、Nのガス分圧を下げるので被覆剤全重量に対して20%以上の添加が必要であり、また、50%を超えて添加するとガス発生量が過剰になるためビッドが多発するようになり、さらに、スラグの融点が増加するためスラグの流動性が悪くなり健全な溶接ビードが得られなくなるので、金属炭酸塩を20~50%とした。

【0034】本発明でいう金属フッ化物とは、CaF<sub>2</sub>、CeF<sub>3</sub>、MgF<sub>2</sub>、BaF<sub>2</sub>などをいうが、これらはいずれもスラグの流動性を増す効果があるが、添加量が20%未満の場合にはスラグの流動性が悪いためビード外観が劣化する。一方、添加量が50%を超えると被覆アーク溶接棒の溶接時のシリンダー形状が弱くなり、片溶けを起こすようになり溶接作業性が劣化するので、金属フッ化物を20~50%とした。

【0035】本発明の被覆アーク溶接棒に用いる被覆剤は、前記金属炭酸塩、金属フッ化物及び酸化物に加えて3~20%の合金剤、0.2~5%の脱酸剤、3~20%のスラグ生成剤及び1~5%の粘結剤を含有する。

【0036】ここでいう合金剤とはMn、Cr、Mo、W、V、Fe、Nb及びCr-Nの中から選ばれる1種又は2種以上の金属粉末で心線にこれらの元素の大部分を含有させているが、溶接時に酸化消耗する成分を補うためと溶着金属の目標成分を満足しない場合に、合金剤として配合し、溶着金属の機械的性質の向上、耐食性及び耐割れ性の改善をはかるものである。

【0037】脱酸剤はAl、Ti、Siなど単体金属、Fe-Si、Fe-Alなどの鉄合金及びAl-Mgなどのいずれか1種以上であり、これを被覆剤に含有させ、耐ブローホール性を改良するものである。

【0038】スラグ生成剤は、TiO<sub>2</sub>、SiO<sub>2</sub>、TiK<sub>2</sub>O、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の中から選ばれる1種又は2種以上の粉末で、スラグは熔融金属の上を覆って、大気による酸化や窒化を防止すると共に、脱酸作用を助け溶着金属の性能や溶接作業性にも大きく影響する。例えばスラグ剤の配合が少ないとスラグの被包性が悪くなりアークが不安定になる。また、スラグ剤が多すぎるとスラグの流動性が悪くなり立向溶接性が劣るようになる。特に、TiO<sub>2</sub>、TiK<sub>2</sub>Oはライム型溶接棒の欠点である初アーク発生及び再アーク発生の安定性に効果がある。また、SiO<sub>2</sub>は塗装時のスベリ剤の作用として効果があり、溶接後はスラグになる。これらの添加量が3%未満の場合にはアーク切れが発生し安定した溶接ができない。一方、添加量が20%を超えるとライム型溶接棒の特長の一つである高塩基性というバランスがくずれ、溶接金属のP、S、Siが増す傾向になり、耐溶接割れ感受性が高くなるので、スラグ生成剤の添加量は3~20%とした。

【0039】粘結剤(バインダ)は、硅酸カリウム水溶液と硅酸ソーダ水溶液とからなる水ガラスであり、硅酸カリウムはアークの安定性に効果がある反面、吸湿性が高い。また、硅酸ソーダはアークの安定性がやや劣るが、反面、吸湿性は低い。両者の特長を生かし、混合してバインダとして使用する。本発明の被覆アーク溶接棒では特に吸湿性を考慮して硅酸ソーダを主体としたものが好ましい。

【0040】

【実施例】以下実施例により本発明をさらに具体的に説明する。組成の異なる心線及び被覆剤(フラックス)を組み合わせた本発明の被覆アーク溶接棒及び組成が本発明の範囲外である比較例の被覆アーク溶接棒を用いて試験片を溶接し、常温引張試験、350℃の高温引張試験、T形溶接割れ試験及びC形ジグ拘束突合せ溶接割れ試験を行った。母材としてはJIS G4304(熱間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯)のSUS304を使用した。ここで母材としてSUS304を使用したのは①実際の構造物にSUS304を使用した箇所がある、②SUS304の方がインコネル690よりもP、Sの含有量が多く溶接割れが発生しやすく、割れ試験用としては厳しい条件で評価できる、③溶着金属の引張試験では母材の全表面に肉盛溶接する(JIS規定による)ので材質の影響がないためである。

【0041】引張試験はJIS Z3111(溶着金属の引張及び衝撃試験方法)に準じて行った。試験板のSUS304母材開先面及び裏当て金表面には規定どおり2層バタリング溶接したものを使用した。継手溶接は、

予熱なし、パス間温度 177℃以下、溶接電流 140 A (溶接棒径 4 mm) で行った。継手溶接金属から J I S Z 3 1 1 1 A 2 号 (試験片の平行部の直径 6 mm) 引張試験片を機械加工により採取した後、J I S Z 2 2 4 1 (金属材料引張試験方法) に準じて引張試験を行った。

【0042】 T形溶接割れ試験及び C形ジグ拘束突合せ溶接割れ試験はそれぞれ J I S Z 3 1 5 3 及び J I S Z 3 1 5 5 に準じて行った。T形溶接割れ試験に用いた試料の形状を図 1 に、C形ジグ拘束突合せ溶接割れ試験に用いた試料の形状を図 2 に示す。また、比較例及び実施例で用いた心線の組成をそれぞれ表 4 に、比較例及び実施例で使用した被覆剤 (フラックス) の組成を表 5 に示す。なお、被覆剤には表 5 の成分の外に粘結剤として適量の珪酸ソーダを添加した。

【0043】 各試験の結果を表 6 に示す。表 6 は溶着金属の引張強さ ( $\sigma_u$ )、伸び (EL) 及び溶接割れ試験における割れ率 (%) を示したものである。なお、割れ

率は次式により求めたものである。

$$\text{割れ率 (\%)} = (\text{割れ長さ mm} / \text{溶接ビード長さ mm}) \times 100$$

表 6 において AC-1 は市販の Ni 基高 Cr 合金用溶接棒であり、比較のもとになるデータである。先ず T形溶接割れ試験の結果からわかるように心線として本発明の組成範囲内にある材料を使用し、被覆剤として A~D を使用した RAC-2~15 の耐割れ性が AC-1 の比較例の材料よりも優れている。また、350℃の高温引張試験における引張強さ ( $\sigma_u$ ) は、市販溶接棒の場合は 497 MPa であるのに対し本発明の RAC-2~15 では 534~560 MPa であり、37~63 MPa の向上が認められた。これらの結果をまとめると表 3 のようになり、溶接割れ感受性を高めることなく高温強度を上げることができることがわかる。

【0044】

【表 3】

	比較例 (No. AC-1)	本発明例 (No. RAC 2-15)
350℃高温引張試験 ( $\sigma_u$ )	497 MPa	535 ~ 560 MPa
溶接割れ発生率	C形: 31.3 % T形: 24.4 %	C形: 14.5~32.5 % T形: 0 %

【0045】 表 7 に前記試験結果に基づく重回帰分析から明らかになった特性値に及ぼす合金元素の影響を示す。表 7 中、↑は向上効果、↓は減少効果、-は顕著な

効果が認められない状態を示す。

【0046】

【表 4】

区分	溶接棒 No.	溶 加 材 の 化 学 成 分 ( 重 量 % )																	
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Fe	Ti	Nb	Al	N	O	W	V	Co
比较例	AC- 1	0.029	0.45	3.27	0.006	0.008	56.28	28.85	0.010	0.01	9.36	0.100	1.490	0.140	0.016	0.083	0.00	0.00	0.01
	RAC- 2	0.047	0.39	3.72	0.003	0.004	54.00	29.37	0.010	0.01	10.50	0.120	1.460	0.039	0.120	0.100	0.00	0.04	0.01
	RAC- 3	0.048	0.36	3.69	0.004	0.003	53.90	29.37	0.300	0.01	10.47	0.100	1.340	0.030	0.110	0.080	0.00	0.01	0.01
	RAC- 4	0.046	0.33	3.67	0.004	0.004	54.30	29.29	0.010	0.02	10.28	0.080	1.300	0.035	0.110	0.100	0.30	0.01	0.01
実施例	RAC- 5	0.046	0.35	3.67	0.004	0.004	53.00	29.28	0.220	0.02	10.37	0.080	1.340	0.030	0.110	0.080	0.30	0.02	0.01
	RAC- 6	0.046	0.34	3.88	0.006	0.003	53.90	29.98	0.350	0.01	11.02	0.100	1.110	0.049	0.120	0.080	0.00	0.01	0.01
	RAC- 7	0.047	0.33	3.77	0.006	0.004	54.40	29.14	0.020	0.01	10.81	0.110	1.090	0.053	0.090	0.080	0.00	0.01	0.01
	RAC- 8	0.046	0.31	3.51	0.009	0.003	53.50	29.20	0.010	0.01	11.09	0.090	1.150	0.060	0.100	0.090	0.00	0.01	0.01
	RAC- 9	0.048	0.33	3.50	0.007	0.005	54.00	29.20	0.010	0.01	10.58	0.100	1.290	0.060	0.120	0.080	0.30	0.02	0.01
	RAC-10	0.047	0.34	4.33	0.008	0.004	53.50	29.71	0.420	0.02	10.85	0.090	1.360	0.058	0.130	0.100	0.30	0.01	0.01
	RAC-11	0.049	0.37	4.52	0.008	0.003	52.70	28.88	0.500	0.01	10.78	0.100	1.210	0.064	0.130	0.098	0.28	0.01	0.01
	RAC-12	0.047	0.42	4.15	0.006	0.002	52.80	29.40	0.410	0.02	10.17	0.100	1.380	0.060	0.170	0.100	0.00	0.01	0.01
	RAC-13	0.048	0.39	4.21	0.006	0.005	52.40	28.82	0.440	0.01	10.32	0.100	2.250	0.059	0.120	0.078	0.00	0.01	0.01
	RAC-14	0.046	0.36	3.87	0.005	0.006	52.80	28.98	0.350	0.02	10.04	0.100	1.310	0.060	0.120	0.080	0.00	0.38	0.01
	RAC-15	0.046	0.19	4.44	0.008	0.003	54.50	28.68	0.400	0.02	9.70	0.080	1.190	0.054	0.130	0.070	0.00	0.37	0.01

【0047】

【表5】



【0048】  
【表6】

タイプ	記号	金属炭酸塩		金属ふっ化物		スラグ生成剤					脱酸剤					合金剤						
		CaCO <sub>3</sub>	MnCO <sub>3</sub>	CaFe	CaF <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiK <sub>2</sub> O	ZrO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe-Si	Fe-Al	Fe-Ti	Al-Mg	Mn	Cr	Fe-Nb	Cr-N	Mo	W	V	
I	A	36.0	-	37.0	1.5	3.8	-	2.0	-	3.5	2.0	-	-	0.7	1.0	2.7	7.8	2.0	-	-	-	
	B	36.0	-	37.5	1.4	3.0	-	2.0	-	3.5	1.3	-	-	0.4	1.0	2.7	7.8	1.6	1.0	0.8	-	
	C	33.8	-	36.4	1.6	3.1	-	2.0	-	3.2	0.8	-	-	0.4	3.1	1.6	7.8	5.0	1.9	-	-	
	D	36.1	-	36.8	1.4	5.0	-	-	-	3.5	1.4	-	-	0.4	1.2	2.5	7.0	1.8	0.9	-	0.20	
II	E	12.5	12.5	9.2	1.5	25.3	5.6	5.6	1.5	2.8	-	0.3	0.3	0.3	9.0	8.0	-	-	-	-	-	

タイプ I : ライム型フラックスタイプ  
II : ライムチタニア型フラックスタイプ

区 分	溶接棒	被覆剤	常温引張試験		350℃高温引張試験		溶接割れ試験(%)	
			$\sigma_u$ (Mpa)	EL(%)	$\sigma_u$ (Mpa)	EL(%)	C形ジグ拘束突合せ	T形
比較例	AC- 1	E	684	41.3	536	40.7	26.6	0.0
実施例	RAC- 2	A	684	41.3	536	40.7	26.6	0.0
	RAC- 3	A	678	43.6	546	37.4	31.6	0.0
	RAC- 4	B	677	43.6	534	38.1	32.5	0.0
	RAC- 5	B	682	42.6	546	40.2	22.7	0.0
	RAC- 6	C	680	42.3	535	40.9	26.7	0.0
	RAC- 7	A	681	48.1	540	40.7	25.3	0.0
	RAC- 8	C	689	41.3	543	40.6	25.0	0.0
	RAC- 9	B	690	41.5	542	40.9	30.2	0.0
	RAC-10	B	687	44.8	542	39.8	29.8	0.0
	RAC-11	B	690	41.5	542	43.2	19.5	0.0
	RAC-12	C	691	47.7	560	43.7	17.7	0.0
	RAC-13	A	682	39.6	554	37.8	14.5	0.0
	RAC-14	D	675	47.7	547	42.9	15.3	0.0
	RAC-15	D	686	44.4	546	41.0	19.2	0.0

【0049】

【表7】

30

合金元素	耐割れ性	常 温 $\sigma_u$	常 温 EL	350℃ $\sigma_u$	350℃ EL
C	—	↑	↑	↑	—
Si	↓	—	—	↓	—
Mn	—	—	↑	—	—
P	↓	—	↓	—	—
S	↓	↓	—	—	—
Ni	—	—	—	—	—
Cr	—	↓	↓	↓	↓
Fe	↓	—	↑	—	—
Al	—	—	—	—	—
Ti	—	—	—	—	↓
Nb	↑	↑	—	↑	—
N	—	↑	—	↑	↑
O	—	↓	↓	—	—
V	—	—	—	—	—
W	—	—	—	—	—
Cu, Mo, Mn	—	↑	—	↑	—

【0050】

【発明の効果】インコネル690合金などNi基高Cr合金の溶接に用いる被覆アーク溶接棒はASME Codeに規定のものが用いられていたが、ASME Codeの規格材は短時間の引張強度は良好であっても溶接部の高温強度まで考慮されたものではないので、高温引張強度特性が十分でなく、例えば加圧水型原子炉などの構造物の構成部材の溶接に適用した場合、これらの装置を高温度で長時間運転するには信頼性に欠けるものであった。本発明の被覆アーク溶接棒は前述のように、ASME Codeの規格材の組成を基本としているが、特にMo量については規格の成分範囲内での上限を狙って合金設計することにより高温引張強度の改善をはかり、次にASME Codeに定められていないW及びV元素の適正範囲を明らかにした。さらに原材料や溶製時の

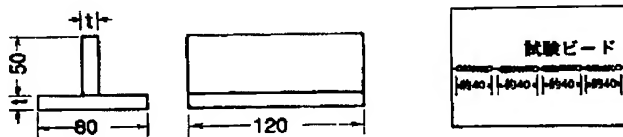
副原料から混入してくる不可避不純物の残存量を検討し、これらの中でも高温引張強度の向上に寄与するNを重視してその許容量を決定することにより、ASME Codeの被覆アーク溶接棒を用いたとき350℃の溶着金属の高温引張強度が500N/mm<sup>2</sup>であったのに比べて本発明の被覆アーク溶接棒によれば同一条件で少なくとも540N/mm<sup>2</sup>以上の高温引張強度が得られ、その結果インコネル690合金を使用する高温構造物の溶接に対して大きな信頼性を付与することができる。

【図面の簡単な説明】

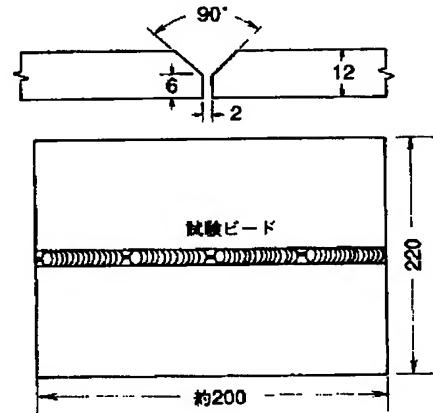
【図1】T形溶接割れ試験に用いた試料の形状を示す概略図。

【図2】C形ジグ拘束突合せ溶接割れ試験に用いた試料の形状を示す概略図。

【図1】



【図2】



【手続補正書】

【提出日】平成7年2月16日

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0046

【補正方法】変更

【補正内容】

【0046】

【表4】

区分		心線の化学成分（重量％）																		
		溶接棒 No.	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Fe	Ti	Nb	Al	N	O	W	V	Co
比較例		AC-1	0.029	0.45	3.27	0.006	0.008	56.28	28.85	0.010	0.01	9.36	0.100	1.490	0.140	0.016	0.083	0.00	0.00	0.01
		RAC-2	0.047	0.39	3.72	0.003	0.004	54.00	29.37	0.010	0.01	10.50	0.120	1.460	0.039	0.120	0.100	0.00	0.04	0.01
		RAC-3	0.048	0.36	3.69	0.004	0.003	53.90	29.37	0.300	0.01	10.47	0.100	1.340	0.030	0.110	0.080	0.00	0.01	0.01
		RAC-4	0.046	0.33	3.67	0.004	0.004	54.30	29.29	0.010	0.02	10.28	0.080	1.300	0.035	0.110	0.100	0.30	0.01	0.01
		RAC-5	0.046	0.35	3.67	0.004	0.004	53.90	29.28	0.220	0.02	10.37	0.080	1.340	0.030	0.110	0.090	0.30	0.02	0.01
		RAC-6	0.046	0.34	3.88	0.006	0.003	53.90	29.98	0.350	0.01	11.02	0.100	1.110	0.049	0.120	0.080	0.00	0.01	0.01
		RAC-7	0.047	0.33	3.77	0.006	0.004	54.40	29.14	0.020	0.01	10.81	0.110	1.090	0.053	0.090	0.080	0.00	0.01	0.01
実施例		RAC-8	0.046	0.31	3.51	0.009	0.003	53.50	29.20	0.010	0.01	11.09	0.090	1.150	0.060	0.100	0.090	0.00	0.01	0.01
		RAC-9	0.048	0.33	3.50	0.007	0.005	54.00	29.20	0.010	0.01	10.58	0.100	1.290	0.060	0.120	0.080	0.30	0.02	0.01
		RAC-10	0.047	0.34	4.33	0.008	0.004	53.50	28.71	0.420	0.02	10.85	0.090	1.360	0.058	0.130	0.100	0.30	0.01	0.01
		RAC-11	0.049	0.37	4.52	0.008	0.003	52.70	28.88	0.500	0.01	10.78	0.100	1.210	0.064	0.130	0.068	0.28	0.01	0.01
		RAC-12	0.047	0.42	4.15	0.006	0.002	52.80	29.40	0.410	0.02	10.17	0.100	1.380	0.060	0.170	0.100	0.00	0.01	0.01
		RAC-13	0.048	0.39	4.21	0.006	0.005	52.40	28.82	0.440	0.01	10.32	0.100	2.250	0.059	0.120	0.078	0.00	0.01	0.01
		RAC-14	0.046	0.36	3.87	0.005	0.006	52.80	28.98	0.350	0.02	10.04	0.100	1.310	0.060	0.120	0.080	0.00	0.38	0.01
		RAC-15	0.046	0.19	4.44	0.003	0.003	54.50	28.68	0.400	0.02	9.70	0.080	1.190	0.054	0.130	0.070	0.00	0.37	0.01

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0048

【補正方法】変更

【補正内容】

【0048】

【表6】

区 分	溶 接 棒	被 覆 剤	常温引張試験		350℃高温引張試験		溶接割れ試験(%)	
			$\sigma_u$ (Mpa)	EL(%)	$\sigma_u$ (Mpa)	EL(%)	C形ジグ拘束突合せ	T形
比較例	AC-1	E	621	42.4	497	43.4	31.3	24.4
実施例	RAC-2	A	684	41.3	536	40.7	26.6	0.0
	RAC-3	A	678	43.6	546	37.4	31.6	0.0
	RAC-4	B	677	43.6	534	38.1	32.5	0.0
	RAC-5	B	682	42.6	546	40.2	22.7	0.0
	RAC-6	C	680	42.3	535	40.9	26.7	0.0
	RAC-7	A	681	48.1	540	40.7	25.3	0.0
	RAC-8	C	689	41.3	543	40.6	25.0	0.0
	RAC-9	B	690	41.5	542	40.9	30.2	0.0
	RAC-10	B	687	44.8	542	39.8	29.8	0.0
	RAC-11	B	690	41.5	542	43.2	19.5	0.0
	RAC-12	C	691	47.7	560	43.7	17.7	0.0
	RAC-13	A	682	39.6	554	37.8	14.5	0.0
	RAC-14	D	675	47.7	547	42.9	15.3	0.0
	RAC-15	D	686	44.4	546	41.0	19.2	0.0

フロントページの続き

(72)発明者 飯田 将人  
兵庫県神戸市兵庫区和田崎町一丁目1番1  
号 三菱重工業株式会社神戸造船所内  
(72)発明者 段林 勝治  
兵庫県神戸市兵庫区和田崎町一丁目1番1  
号 三菱重工業株式会社神戸造船所内

(72)発明者 大前 堯  
静岡県浜北市中瀬7800番地 日本ウェルデ  
ィング・ロッド株式会社技術研究所内  
(72)発明者 高津 玉男  
静岡県浜北市中瀬7800番地 日本ウェルデ  
ィング・ロッド株式会社技術研究所内